534.4
Schll
REMOTE STORAGE

Extrait des Archives Néerlandaises, T. XXIX.

SUR LA LIMITE INFÉRIEURE DES SONS PERCEPTIBLES.

PAR

W. C. L. VAN SCHAIK.

On admet généralement, avec von Helmholtz, que le plus petit nombre des vibrations correspondant à la sensation d'un son déterminé, est d'environ 28 vibrations complètes par seconde. La limite inférieure des sons perceptibles à l'oreille humaine tombe donc environ sur le La_{-2}.

Il y a quelques années, M. Appunn a fait connaître certaines expériences, suivant lesquelles la limite en question serait située une octave et demie plus bas. Il avait employé à ce propos une lame d'acier large de 12 mm., à l'extrémité de laquelle était fixé un disque de 4 cm. de diamètre. Les vibrations de la lame étaient ainsi transmises à l'air ambiant. Comparées à celles de von Helmholtz, qui consacre à ce sujet particulier un chapitre de sa *Théorie physiologique de la musique*, ces expériences ne font pas encore douter bien vite aux allégations du grand physicien. Cependant le résultat déduit des expériences de M. Appunn commence à passer dans les traités [2]) et trouve déjà des applications. Il est temps, me semble-t-il, d'y faire les objections nécessaires.

On sait que von Helmholtz s'est également servi de disques vibrants pour l'étude des sons les plus bas perceptibles. Ces disques, de 5 cm. de diamètre, étaient fixés aux branches de grands diapasons. Le résultat obtenu a été iden-

[1]) Beiblätter der *Ann. der Physik und Chemie*, 1890, p. 362.
[2]) Wüllner, Lehrb. der Experimentalphysik. 1895, p. 164.

55249

tique à celui de ses autres expériences. Or, les vibrations d'un diapason ont ceci de particulier que, si l'amplitude devient considérable, l'octave du son rendu se fait également entendre. Ce phénomène résulte de ce que les forces qui, dans ces conditions, ramènent le corps à sa position d'équilibre sont asymétriques par rapport à cette position [1]) Mais ces octaves de faible intensité n'auront pas troublé von Helmholtz dans la perception du son fondamental, si du moins celui-ci était perceptible. Ces expériences n'occupent d'ailleurs qu'une place très-secondaire dans le travail cité.

Dans le cas d'une lame d'acier plate, l'élasticité possède, dans les positions symétriques par rapport à la position d'équilibre, des valeurs égales. La cause provoquant l'apparition de l'octave fait donc défaut; et, convenablement mise en vibration, une lame de cette nature, alors même que l'amplitude est considérable, peut se trouver en mouvement vibratoire à peu près simple. Mais cela ne veut pas dire qu'il en sera encore ainsi des masses d'air situées dans le voisinage de la lame vibrante. On peut s'attendre au contraire à ce que ces masses prendront, sous l'influence de vibrations rapides de la part de la lame, des mouvements plus compliqués. En effet, il y a déjà cette raison que les impulsions reçues seront probablement asymétriques, ce qui donnera une certaine importance au carré des écarts et fera donc apparaître l'octave.

J'ai répété il y a trois ans ces expériences, en me servant d'une lame d'acier de 1 mm. d'épaisseur et 26 mm. de largeur, maintenue dans un serre-joint ordinaire, fixé à une lourde plaque de pierre. A l'extrémité de la lame pouvait s'adapter une plaque de 8 cm. de largeur. Cette disposition permettait de poursuivre le son fondamental jusqu'au-dessous de l'Ut_{-1}, même plus bas que le La_{-2}, et dans des circonstances favorables jusqu'au Sol_{-2}. Si l'on donnait à la lame une longueur encore plus grande, on entendait encore des sons très-bas,

---

[1]) Lord Rayleigh, Theory of Sound. Art. 67.

mais que j'ai reconnu être des harmoniques supérieurs du son fondamental, lequel n'était plus perceptible. Il était d'ailleurs généralement accompagné déjà au-dessus du Sol_{-2} par l'octave, et souvent aussi par la duodécime. Je ne suis pas parvenu à supprimer complètement les harmoniques supérieurs, même en fixant la lame dans le serre-joint entre des plaques de matériaux plus doux et l'entourant d'une gaîne de velours. On observera d'ailleurs que la duodécime peut se faire entendre, pourvu que les vibrations soient intenses, quand le cube de l'écart ne peut plus être négligé. J'ai contrôlé le mouvement pendulaire simple de la lame par la méthode optique.

Pour rendre nettement appréciable l'existence de ces harmoniques supérieurs, on peut, outre les moyens ordinaires, avoir recours encore au suivant. On dispose en face de la plaque vibrante un très-faible courant d'air, sortant de l'embouchure en forme de fente d'un tube aplati à son extrémité. Le mouvement vibratoire que va prendre cette lame d'air sous l'influence des ondes aériennes peut être rendu visible au moyen de filaments de duvet, et l'on reconnaîtra à la forme de la figure obtenue la composition des mouvements vibratoires [1]). C'est ainsi que les vibrations ne révèlent, dans le cas de mouvement pendulaire simple, de minima de vitesse que dans les positions extrêmes. Pour établir un parallèle dans des circonstances aussi identiques que possible, je disposai une lame d'air, de 12 mm. de largeur et $^1/_2$ mm. d'épaisseur environ, en regard de l'embouchure d'un large tuyau d'orgue fermé. Ce tuyau ne recevait aucun vent, mais servait de résonnateur, et donnait l'Ut_1 comme son de résonnance maxima. A une distance de quelques décimètres se trouvait un tuyau analogue, rendant le même son fondamental, mais actionné par une soufflerie. La lame d'air montra nettement dans ces conditions un mouvement vibratoire simple

---

[1]) *Arch. Néerl.* 1891. T. XXV, p. 316, 326.

de grande amplitude. Sans modifier le courant, je l'approchai de la large lame d'acier, après que celle-ci, accordée pour le même son, eût été mise en mouvement. La figure de vibration se trouva être complexe, surtout quand le courant d'air se trouvait dans le voisinage du bord de la plaque. J'avais dans une autre expérience accordé la lame de manière à lui faire rendre environ 19 vibrations complètes. Les sons perceptibles furent le *Ré dièze*$_{-1}$ et très-faiblement le *Si dièze*$_{-1}$. Quand je disposai la lame d'air, très-peu agitée par elle-même, en face de la lame d'acier, la figure de vibration indiqua une composition du son fondamental avec l'octave, qui cependant n'était pas sensible dans le mouvement de la lame d'acier.

On voit donc par ce qui précède que l'on n'a aucun droit de conclure des vibrations simples d'une lame d'acier que les ondes aériennes qu'elle provoque seraient également simples. On peut en dire autant des anches vibrantes qui, alors même qu'on ne les soumet pas à l'action d'un courant d'air, donnent, absolument comme l'appareil de Savart, des ondes aériennes complexes et des harmoniques supérieurs nettement appréciables. Il faut de plus tenir compte, comme le fait observer von Helmholtz, de ce que les plaques et les anches libres, quand elles sont chargées d'un fort poids à leur extrémité, impriment deux fois par vibration complète une secousse à leur point de fixation, tout comme le ferait un pendule ordinaire, et qu'elles favorisent ainsi l'apparition de l'octave.

On aura encore, dans les expériences sur les plaques vibrantes, à tenir compte d'une production spéciale de sons. On sait qu'il se produit des sons profonds d'intensité faible et de courte durée quand on approche la main de l'oreille avec une rapidité suffisante. Si l'amplitude n'est pas trop faible, une plaque vibrante produit à chaque vibration des sons analogues; et ces sons, perçus dans le voisinage de leur source, possèdent une intensité variable. Mais comme ils sont très-légers,

ils deviennent rapidement insaisissables à quelque distance. Ils sont souvent compris dans l'octave située entre Ut_1 et Ut_{-1}. Si l'intervalle au bout duquel ces sons prennent de nouveau naissance est plus petit que leur durée, c'est-à-dire que le temps nécessaire à leur évanouissement, on les entendra constamment. Cette continuité de sons profonds d'intensité périodique suffit déjà à elle seule pour faire croire un instant à l'existence d'un son plus profond, dont la période de vibration serait égale à celle de la plaque vibrante.

Supposons que nous placions l'oreille en face de plaques vibrantes possédant une amplitude de quelques centimètres. On peut s'attendre à percevoir des harmoniques supérieurs, alors même que ces plaques présentent une grande surface. Mais si nous avons donné aux plaques une surface trop petite, les ondes sonores attendues ne se produiront pas avec une intensité suffisante [1]). En effet, dans le voisinage d'une plaque de surface donnée, que l'on fait vibrer avec une rapidité trop faible, le mouvement des molécules d'air consistera surtout en un déplacement d'un côté à l'autre [2]). Il en est de même quand, pour une amplitude et une durée de vibration données, la surface est trop petite. Un diapason donnant l'Ut_{-1} (32 vibrations complètes), et dont les branches ont une largeur de 12 mm., ne transforme qu'une faible portion de son énergie actuelle en énergie vibratoire, malgré que le son fondamental soit nettement perceptible. Mais si l'on y adapte des plaques de 4 cm. de diamètre, l'intensité du mouvement aérien, correspondant au son fondamental, se trouve considérablement accrue. Sur les bords de la plaque il y a d'ailleurs des courants tourbillonnants; et en général le mouvement de l'air présente une assez grande complication. Cette raison seule me fait déjà paraître très-peu appropriée une plaque vibrante de 4 cm. de diamètre, quand on se propose de démontrer la

---

[1]) Lord Rayleigh, l. c. II. Chap. XVII.

[2]) Stokes. *Phil. Trans.* 1868.

perceptibilité de sons plus profonds de deux octaves que l'*Ut*$_{-1}$. Cet appareil a cependant servi aux expériences de MM. Zwaardemaker et Cuperus, dans leur étude sur l'étendue du champ auditif [1]).

Il se peut que l'existence de mouvements tourbillonnants sur les bords des plaques vibrantes soit en rapport avec la dépendance plus ou moins grande qui s'observe entre l'intensité relative des harmoniques supérieurs prenant naissance dans l'air et la période de vibration des plaques. Accordée pour 19 vibrations complètes, la lame d'acier faisait entendre plus faiblement la duodécime que l'octave; dans le cas de 21 vibrations l'inverse avait lieu; et la figure de vibration corroborrait par sa forme ces résultats observés par l'oreille.

Si l'on se propose de déterminer la limite inférieure des sons perceptibles, il est nécessaire de communiquer aux couches d'air un mouvement vibratoire simple, ou du moins de faire usage de sources sonores dont les sons partiels soient suffisamment connus et ne soient pas trop voisins les uns des autres. C'est pourquoi von Helmholtz a recommandé avec raison les tuyaux à bouche fermés de grande taille. Le son fondamental d'un large tuyau d'orgue fermé, de son bien pur, est en effet très intense et facile à distinguer de la duodécime. Or, il n'est pas difficile de se convaincre, à l'aide de tuyaux de cette nature, de l'exactitude des résultats de von Helmholtz. Deux accordeurs que je sais capables, en train d'accorder un régistre bouché de 32 pieds, furent obligés de m'assurer qu'ils pouvaient encore percevoir tout juste le son *Sol*$_{-2}$, mais qu'il ne pouvait être question d'un son inférieur à cette limite. Le mouvement de l'air à l'embouchure du tuyau était cependant bien réglé. C'est pour cette raison que les constructeurs d'orgue bien au courant n'attachent d'ordinaire aucune importance aux six ou sept tuyaux les plus grands d'un jeu bouché de 32 pieds.

---

[1]) *Zeitschr. für Psychol. u. Physiol. der Sinnesorgane.* Bd. VII.

Les tuyaux ouverts rendent aussi, au nombre des harmoniques, les octaves, et ce fait est de nature à embarrasser quand on ne s'est pas exercé quelque peu à distinguer la hauteur du son dans l'octave inférieure à l'Ut_1. Mais quand ces tuyaux possèdent le diamètre voulu, leur son fondamental peut se faire entendre avec une grande netteté, surtout dans le voisinage de l'extrémité ouverte. Cela tient sans nul doute à ce que l'énergie s'y communique avec plus d'intensité et de régularité à l'air ambiant que près de l'embouchure. L'intensité du son fondamental d'un large tuyau ouvert de 16 pieds, donnant l'Ut_{-1}, est bien différente de celle présentée par le même son, rendu par un diapason muni d'une plaque de quelques centimètres carrés. On conçoit qu'il doive en être ainsi quand on réfléchit que la section d'un pareil tuyau peut être d'environ six décimètres carrés et l'amplitude des vibrations de l'air de quelques centimètres. Cependant je n'ai, même dans le cas de grands tuyaux ouverts, pu distinguer un son fondamental réel dans la moitié la plus basse de l'octave inférieure à Ut_{-1} (la sous-contre-octave). On perçoit, il est vrai, dans cette région, à chacune des poussées d'air qui se succèdent rapidement, quelques sons de peu de durée, mais il n'y a pas moyen de les confondre avec un son fondamental. Ces bruits intermittents peu intenses communiquent au son, en même temps que les harmoniques supérieurs du tuyau, un certain caractère de roulement, qui disparaît cependant à quelque distance. Là on n'entend plus que l'ensemble des harmoniques les plus profonds, comme cela arrive surtout pour les plus grands tuyaux du régistre nommé Principal ou Diapason.

Les observations précédentes m'autorisent, me semble-t-il, à conclure qu'il n'y a aucune raison d'abaisser sensiblement la limite inférieure des sons perceptibles, telle qu'elle a été fixée par von Helmholtz. Elle est voisine du Sol_{-2} (24 vibrations complètes).

---

3 0112 072672592